

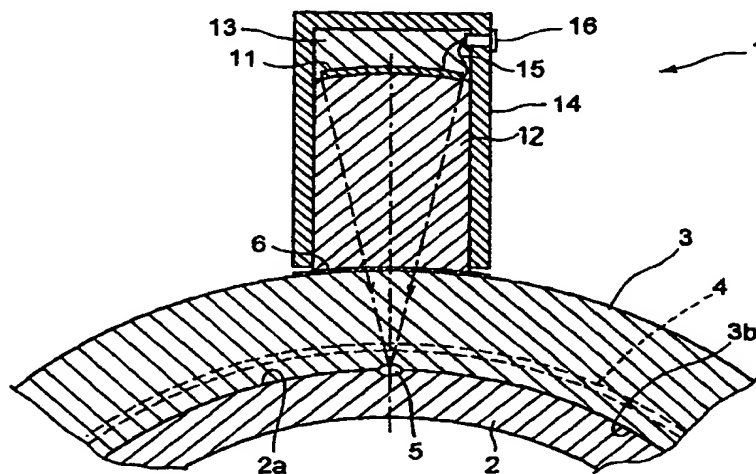
<p>(51) 国際特許分類6 G01N 29/24, 29/22</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO99/13327</p> <p>(43) 国際公開日 1999年3月18日(18.03.99)</p>												
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/03962</p> <p>(22) 国際出願日 1998年9月3日(03.09.98)</p> <p>(30) 優先権データ</p> <table border="0"> <tr> <td>特願平9/242290</td> <td>1997年9月8日(08.09.97)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平9/300348</td> <td>1997年10月31日(31.10.97)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平9/300349</td> <td>1997年10月31日(31.10.97)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平9/356736</td> <td>1997年12月25日(25.12.97)</td> <td>JP</td> </tr> </table> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 大阪瓦斯株式会社(OSAKA GAS CO., LTD.)(JP/JP) 〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号 Osaka, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および</p> <p>(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 北岡利道(KITAOKA, Toshimichi)(JP/JP) 井上富美夫(INOUE, Fumio)(JP/JP) 〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号 大阪瓦斯株式会社内 Osaka, (JP) 戸田裕己(TODA, Hiroki)(JP/JP) 〒658-0003 兵庫県神戸市東灘区本山北町四丁目15番2号 Hyogo, (JP)</p>		特願平9/242290	1997年9月8日(08.09.97)	JP	特願平9/300348	1997年10月31日(31.10.97)	JP	特願平9/300349	1997年10月31日(31.10.97)	JP	特願平9/356736	1997年12月25日(25.12.97)	JP	<p>(74) 代理人 弁理士 北村修一郎(KITAMURA, Shuichiro) 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎五丁目8番1号 Osaka, (JP)</p> <p>(81) 指定国 JP, US, 欧州特許 (DE, FR, GB, IT, NL).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
特願平9/242290	1997年9月8日(08.09.97)	JP												
特願平9/300348	1997年10月31日(31.10.97)	JP												
特願平9/300349	1997年10月31日(31.10.97)	JP												
特願平9/356736	1997年12月25日(25.12.97)	JP												

(54)Title: FOCUSING LONGITUDINAL WAVE ULTRASONIC PROBE FOR INSPECTING POLYMER MATERIAL AND ULTRASONIC DEFECT EVALUATION SYSTEM

(54)発明の名称 ポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子及び超音波欠陥評価装置

(57) Abstract

A focusing longitudinal wave ultrasonic probe for inspecting a polymer material, provided with a curved piezoelectric element and a matching material having an input end face in close contact with the concave surface of the curved piezoelectric element and an output end face fitted to the surface of an object to be inspected, i.e. a polymer material, wherein the acoustic impedance of the matching material is matched with that of the object or/and that of the curved piezoelectric element; and a defect evaluation system for ultrasonic flaw detector provided with two gate circuits and evaluation circuits connected to respective gate circuits so as to realize ultrasonic flaw detection while considering intricate reflection echo and fluctuation of sound velocity.



(57)要約

湾曲状圧電素子と、前記湾曲状圧電素子の凹面に密着した入力端面と被検査物としてのポリマー材料の表面に適合した出力端面とを有するマッチング材とを備えるとともに、前記マッチング材の音響インピーダンスを前記被検査物の音響インピーダンスに適合させるか、又は前記マッチング材の音響インピーダンスを前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合させるか、あるいはその両方を行っているポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。複雑な反射エコーや音速変動を考慮した超音波探傷を実現するため、2つのゲート回路とそれぞれに接続された評価回路を備えた超音波探傷装置用欠陥評価装置。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TC	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CA	カナダ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CF	中央アフリカ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IN	インド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボアール	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CM	カメルーン	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CN	中国	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CU	キューバ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CY	キプロス	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
CZ	チェコ	KR	韓国	RU	ロシア		
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
DK	デンマーク	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		
ES	スペイン						

明 細 書

ポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子及び
超音波欠陥評価装置

5

技 術 分 野

本発明は、ポリマー材料などの被検査物に超音波を送信し、欠陥等から反射してくるエコーを評価することにより非破壊検査を行う超音波探傷に用いられるフォーカス型縦波超音波探触子及び超音波欠陥評価装置に関する。

10

背 景 技 術

ポリマー材料などは、鋼などの金属に比べ、一般的に音波の減衰率が高く、通常の超音波探触子を用いると低いS/N比をもった検出信号しか得られない。減衰による損失を少なくするため超音波ビームの周波数を低くすると欠陥分解能が悪くなり、例えば、都市ガス配管、給湯用配管等に使われ始めて
15 いる、架橋ポリエチレン樹脂管を代表とするポリマー管の接合箇所の超音波探傷、より詳しくは継手軸周りに螺旋状に巻かれた融着用ワイヤーを内部に備えたポリオレフィン樹脂製（代表的には、ポリエチレンもしくは架橋ポリエチレンを挙げることができ、ポリブテンの場合もある）の融着継手の内周
20 面と、この融着継手に融着されるポリオレフィン樹脂管の管外周面との間に形成される融着界面の超音波探傷では、ワイヤーからの反射エコーと融着不良界面などからの欠陥エコーとを区別することが困難となる。

このような問題点を克服するため、横波より減衰率が少ない縦波を用いるとともに、より強い超音波ビームを被検査物に送り込むことができるフォー
25 カス型縦波超音波探触子の採用が考えられる。フォーカス型縦波超音波探触子から送信された超音波ビームはそのフォーカス領域においてビーム径が小さくなるため、分解能に優れた探傷を行うことができる。このため、欠陥の発生領域に欠陥ではない反射源が存在するようなケースでも、被検査物の表面をフォーカス型探触子で正確に走査すれば、その小さなビーム径により予

め位置が分かっている反射源と欠陥とを区別することが可能である。

フォーカス型縦波超音波探触子には、超音波振動子としての圧電素子の湾曲形状として（多数の圧電素子片湾曲状に並べて湾曲圧電素子を形成してもよい）超音波ビームを集束させて予め決められた伝播距離にフォーカスを合わせる固定フォーカスタイプと、走査方向に複数個配列されている各圧電素子を少しずつ遅延させて発振させることによって超音波ビームに指向性をもたせて全体で合成される超音波ビームを所望の伝播距離にフォーカスを合わせる電子フォーカスタイプとがある。電子フォーカスタイプは制御回路が複雑であり、探触子そのものも非常に精密なもので慎重に扱わなければならないことから医療現場での超音波診断装置に主に使用されており、材料検査などでは固定フォーカスタイプが使用されている。

しかし、固定フォーカスタイプの探触子では、湾曲状圧電素子の前面にマッチング材を形成しておき、このマッチング材の先端面を被検査物表面に接触させ、湾曲状圧電素子によって励起された超音波をマッチング材を経て被検査物内に入射させる。この場合、湾曲状圧電素子とマッチング材との間及びマッチング材と被検査物表面との間で超音波の反射が生じ、この反射は音波エネルギーの損失をもたらすだけでなく、その反射エコーの繰り返しが欠陥検出を妨害する。

本発明の課題の1つは、湾曲状圧電素子を用いたフォーカス型縦波超音波探触子からこのような問題点を低減することである。

さらに本発明のもう1つの課題は、前述したようなポリマー管の接合箇所
の超音波探傷に用いられる超音波探傷装置のための欠陥評価装置の改善である。つまり、従来より超音波探傷装置において被検査物中に存在する欠陥を評価するために、表面エコーや底面エコーなどの被検査物の形状に起因するエコーが生じる時間軸領域を除外した領域にゲートをかけることにより欠陥からのエコーだけを選別できるように構成されている。つまり、欠陥検出用ゲートは、超音波探触子によって被検査物を走査する際超音波探触子の位置に応じた幾何学的な計算によって、探傷範囲を満足するようにその位置や幅が決められるが、その際、ゲート回路は、被検査物の表面エコーに同時させ

- てこれを基準にして欠陥検出用ゲートを設定する表面エコー同期ゲートモードや、超音波を励起するパルスを同期信号を基準として欠陥検出用ゲートを設定する励起パルス同期ゲートモードを採用することで、常に被検査物内から戻ってきたエコーを欠陥エコーとして評価する。このような超音波探傷装置
- 5 置のための欠陥評価装置では、被検査物内部に欠陥ではない反射源が存在する場合、この反射源からのエコーを欠陥エコーから除外するため、この反射源の超音波伝播時間領域を欠陥ゲートから外すことになるが、その場合、この反射源と同じ超音波伝播時間領域に存在する欠陥を検出することができなくなる。
- 10 要するに、ここでの本発明のもう 1 つの課題とは、超音波探傷装置によって検査される被検査物内に欠陥でない反射源が存在する場合においても所望の探傷範囲をカバーする欠陥評価装置を提供することである。

発 明 の 開 示

- 15 ポリマー材料検査のためのフォーカス型縦波超音波探触子に関する本発明の課題は、本発明によれば、湾曲状圧電素子と、前記湾曲状圧電素子の凹面に密着した入力端面と被検査物としてのポリマー材料の表面に適合した出力端面とを有するマッチング材とを備え、前記マッチング材の音響インピーダンスが前記被検査物の音響インピーダンスに適合させられているフォーカス型
- 20 縦波超音波探触子によって解決される。この構成では、マッチング材の音響インピーダンスと被検査物の音響インピーダンスとを適合させることにより、マッチング材と被検査物の表面との界面で超音波の反射を抑制することができ、つまりマッチング材から被検査物へ入射する超音波のエネルギー損失を少なくすることができ、反射エコーの繰り返しによる探傷の妨害をなくすと
- 25 ともに超音波減衰の大きな材料に対する検査においても S/N 比に優れた欠陥検出信号が得られる。

フォーカス型縦波超音波探触子に関する本発明の課題は、本発明によれば、湾曲状圧電素子と、前記湾曲状圧電素子の凹面に密着した入力端面と被検査物としてのポリマー材料の表面に適合した出力端面とを有するマッチング材

とを備え、前記マッチング材の音響インピーダンスが前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合させられているフォーカス型縦波超音波探触子によっても解決される。この構成では、マッチング材の音響インピーダンスと湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合させることにより、湾曲状圧電素子からマッチング材への超音波の伝播特性が改善され、上記超音波探触子と同様に、超音波減衰の大きな材料に対する検査においてもS/N比に優れた欠陥検出信号が得られる。

もちろん、上述した2つの特徴を備えたフォーカス型縦波超音波探触子、つまりマッチング材の音響インピーダンスが被検査物の音響インピーダンスに適合させられ、かつマッチング材の音響インピーダンスは前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合させられた超音波探触子の場合、より優れた検査結果が得られる。

ただし、通常、超音波探傷の分野で用いられている圧電素子は、チタン酸ジルコン酸鉛、ニオブ酸鉛、ニオブ酸リチウムなどの圧電性金属酸化物から作られており、固定フォーカスタイプの探触子のための湾曲状の圧電素子を作るには、かなりの技術力が必要とされる。また、圧電性金属酸化物の音響インピーダンスは比較的大きいので、圧電性金属酸化物の音響インピーダンスにマッチング材の音響インピーダンスを合わせより、より小さな音響インピーダンスを有する圧電材料と組み合わせる方が望ましい。

従って、本発明の好適な実施形態の1つでは、ポリマー圧電材料製の湾曲状圧電素子が用いられる。湾曲状圧電素子として弾力性に富んだポリマー材料を採用することで、超音波伝播部材としてのマッチング材の凸面湾曲状に形成された端部に、薄膜電極を施されたシート状のポリマー材料を密着させるだけで、フォーカス型縦波超音波探触子が作られ、その際マッチング材の音響インピーダンスはポリマー圧電素子の音響インピーダンスに容易に類似させることができるので、その境界面における音波反射や音場の乱れは金属酸化物とプラスチックに比べ著しく抑制される。これにより、簡単に製造されるにもかかわらず、好ましい超音波パルス波を励起することができる。ここでいうマッチング材とポリマー圧電素子の音響インピーダンスの類似の範

囲は、互いの境界で生じる音波反射や音場の乱れが高分解能を必要とする探傷に悪影響を与えないという条件を満たす、両者の音響インピーダンスの相違は含まれる範囲である。実験的には1～3倍程度の音響インピーダンスの
5 違いでも十分であることがわかっているが、この程度の音響インピーダンスの相違は本発明でのマッチング材の音響インピーダンスと前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスの類似範囲に入るとみなされるが、一般に10倍以上ある圧電性金属酸化物とプラスチックの違いに比べると、その違いは極めて小さいといえるだろう。

さらに、本発明による他の1つの好適実施形態では、マッチング材の音響
10 インピーダンスは、前記入力端面から出力端面にかけて湾曲状圧電素子から発射された縦波超音波の伝播方向に関して前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合する値から前記被検査物の音響インピーダンスに適合する値に向かって変化している。この構成では、圧電素子からマッチング材への超音波の伝播特性が改善されるとともに、マッチング材と被検査物との界面領域
15 域では、マッチング材の音響インピーダンスが被検査物の音響インピーダンスに類似しているため、マッチング材と被検査物の境界での音波反射や音場の乱れが抑制され、さらに欠陥検査にとって有利となる。音響インピーダンス変化を有するマッチング材は、ポリマー材料に音響インピーダンスの大きな金属粉末を添加しながら遠心成型をすることで実現することができし、
20 あるいは、音響インピーダンスの異なるポリマーシートを多重に重ねていくことで実現することもできる。

固定フォーカスタイプの縦波超音波探触子では、マッチング材の長さは湾曲状圧電素子から発射された縦波超音波が被検査物の所定検査ポイントで焦点を結ぶように設定することが望ましい。しかし、固定フォーカスタイプの
25 探触子は圧電素子の湾曲形状によって決定される固定フォーカス距離となっているので、高分解能の鮮明なエコーを得ることのできる範囲は限定される。このため、材料表面からの探傷領域までの距離毎に、その距離用の探触子を用意しなければならないし、被検査物の表面が管材のような曲面である場合探触子と被検査物の良好な接触状態を確保するためにはその表面曲率に合わ

せた接触面を形成した探触子を用意しなければならない。このため、通常では、異なる種類の管材を検査するためには、かなりの数のフォーカス型探触子が必要となる。

しかしながら、このような問題は、本発明の好適な実施形態としての、マ
5 ッチング材は第1マッチング材と第2マッチング材とに分割され、第1マ
ッチング材は一方の端面が入力端面として形成されるとともに他方の端面が第
1移行端面として形成され、第2マッチング材は一方の端面が出力端面とし
て形成されるとともに他方の端面が第1移行端面に密着可能な第2移行端面
として形成され、第1移行端面の音響インピーダンスは第2移行端面の音響
10 インピーダンスに適合させられていることを特徴とする縦波超音波探触子に
よって解消される。

湾曲状圧電素子と被検査物との間をつなぐマッチング材を第1マッチング
材と第2マッチング材との2つで構成しており、被検査物内で形成されるフ
ォーカスポイントを第2マッチング材の長さにより調整するとともに、第1
15 移行端面と第2移行端面の音響インピーダンス、つまり第1マッチング材と
第2マッチング材の界面領域の音響インピーダンスを類似させることにより
第1マッチング材と第2マッチング材との界面から生じるエコーも抑えてい
る。ここで第1マッチング材と第2マッチング材の音響インピーダンスが等
しいという記載には、互いの界面から生じるエコーが欠陥エコーの評価に影
20 響を与えない程度しか生じさせない範囲の相違も含まれるべきであり、両者
の音響インピーダンスが超音波探傷に関して実質的に同一であることが重要
である。このような第1マッチング材と第2マッチング材との採用により、
本発明のフォーカス型縦波超音波探触子では、種々の被検査物が検査対象と
なっているとしても、各検査対象ごとに第2マッチング材だけが異なる探触子を用
25 意するだけでよい。

本発明の好適な実施形態として、第2マッチング材を第1マッチング材に
対して脱着自在にするならば、各検査対象に適合するように作られた複数の
第2マッチング材から最適なものを選択して、湾曲状圧電素子と第1マッ
チング材からなる唯一のサブアセンブリに取り付けるだけで、最適なフォー

カス型縦波超音波探触子が組み上がるので、従来に比べ、検査コストを劇的に抑制することができる。

- 本発明のフォーカス型縦波超音波探触子を用いた重要な検査は、ポリオレフィン樹脂管 E F（熱融着）継手融着部の超音波検査であり、この検査では
- 5 軸方向に螺旋状に巻かれた融着用ワイヤーを継手内部に備えた融着継手の継手内周面と、この融着継手に融着される管の管外周面との間に形成される融着状態を、ワイヤーの隙間を通り抜けるように超音波ビームを伝播させて検査しなければならないのである。もちろん、管の種類に応じて、探触子を接触させる面の曲面形状やワイヤーまでの深さは異なるのである。このような
- 10 検査のための本発明の好適実施形態では、第 1 マッチング材と第 2 マッチング材はポリオレフィン樹脂によって作られており、これにより、第 2 マッチング材と間の境界面においても、反射が少なく、十分な超音波エネルギーを被検査物に入射することができるとともに、境界エコーによる妨害も無視できるようにになる。なお、ポリオレフィン樹脂の代表としては、ポリエチレン
- 15 もしくは架橋ポリエチレンを挙げることができ、ポリブテンの場合もある。

- 超音波探傷装置のための欠陥評価装置に関する本発明の課題は、本発明によれば、被検査物内の所定反射源からのエコーのための第 1 ゲートを生成する第 1 ゲート回路と、前記第 1 エコーから所定時間遅れの位置に欠陥検出用の第 2 ゲートを生成する第 2 ゲート回路と、前記第 1 エコーの振幅が所定レ
- 20 ベルを越えた場合欠陥検出と判定する第 1 評価回路と、前記第 2 ゲートに発生したエコーが生じた場合欠陥検出と判定する第 2 評価回路とが備えられている欠陥評価装置によって解決される。

- この構成では、欠陥ではない反射源から生じるエコーの超音波伝播時間領域に第 1 ゲートを設定し、その他の探傷領域には第 2 ゲートを設定し、第 1
- 25 ゲートに生じるエコーに対しては欠陥ではない反射源から通常生じるエコーの強度を越えるレベルの信号のみを欠陥として評価し、第 2 ゲートに生じるエコーは欠陥として評価する。これにより、欠陥でない反射源が存在する領域も含めて所望の探傷範囲をカバーすることができる。

さらに、前記第 2 ゲート回路は前記第 1 エコーと前記第 2 ゲートの時間間

隔を前記被検査物中の音速の変化に追従して変更することを特徴とする本発明の好適な1つの実施形態によって得られる利点は、前述した表面エコー同期ゲートモードや励起パルス同期ゲートモードでゲートを生成する場合の被検査物内の音速が一定であるという絶対条件が必要でなくなるということである。熱によって音速は大きく変化する材料等の溶融接合などの熱加工後の探傷において、このことは大きな利点をもつ。音速変化に応じてゲートスタートとゲート幅の時間を変更することにより、被検査物中の所望の領域に正確に対応するようにゲートを発生させることができるのである。この目的のため、第1ゲート回路は表面エコーと第1ゲートの時間間隔を被検査物中の音速の変化に追従して変更するように構成され、第2ゲート回路は第1エコーと第2ゲートの時間間隔を被検査物中の音速の変化に追従して変更するように構成される。

このようなゲートの音速変化の追従には、その時点での音速を把握しなければならないが、本発明の好適な実施形態では、被検査物内の2つの所定反射源からのエコー、例えば表面エコーや底面エコーなどの時間間隔の計測によって被検査物中の音速の変化を求めている。本発明による欠陥評価装置を備えた超音波探傷装置の典型的な使用例として、ポリオレフィン樹脂管EF（熱融着）継手融着部の超音波検査を取り上げると、この検査では軸方向に螺旋状に巻かれた融着用ワイヤーを継手内部に備えた融着継手の継手内周面と、この融着継手に融着される管の管外周面との間に形成される融着状態を、検査するわけであり、第1ゲートをワイヤー領域に、そして第2ゲートを融着面領域に設定するとともに、所定反射源からのエコーとして、ワイヤーからのエコーと管内面からのエコーを利用するとよい。

25

図面の簡単な説明

図1は、ポリエチレン管EF継手の接合状態の超音波検査における本発明によるフォーカス型縦波超音波探触子の一実施形態を示すポリエチレン管軸方向での断面図、

図2は、図1におけるフォーカス型縦波超音波探触子の一実施形態を示す

ポリエチレン管周方向での断面図、

図 3 は、本発明によるフォーカス型縦波超音波探触子のフォーカス状態を測定した際の測定グラフ、

図 4 は、本発明によるフォーカス型縦波超音波探触子を用いてポリエチレン管 E F 継手の接合状態の超音波検査を行った際の反射波を示すモニター画面図、

図 5 は、ポリエチレン管 E F 継手の接合状態の超音波検査における本発明によるフォーカス型縦波超音波探触子の別実施形態を示す断面図、

図 6 は、短いサブボディを装着したフォーカス型縦波超音波探触子の一実施形態を示すポリエチレン管軸方向の断面図、

図 7 は、ポリエチレン管 E F 継手の接合状態の超音波検査に用いられた本発明による欠陥評価装置を備えた超音波探傷装置のブロック図、

図 8 は、第 1 ゲートで検出された欠陥エコーを示すモニター画面、

図 9 は、第 2 ゲートで検出された欠陥エコーを示すモニター画面、

図 10 は、溶着直後のゲート設定の模式図、

図 11 は、溶着後数十分経過後のゲート設定の模式図である。

発明を実施するための最良の形態

以下本発明の第 1 の実施の形態を図 1 と図 2 を用いて説明する。ここでは、
フォーカス型縦波超音波探触子 1 は、2 本のポリエチレン管 2 を突き合わせ
接合するポリエチレン管 E F 継手 3 の接合状態の超音波検査に用いられてい
る。ポリエチレンはポリオレフィン樹脂に含まれる 1 つの物質としてここで
採用されている。このポリエチレン管 E F 継手 3 は、突き合わされたポリエ
チレン管 2 に外嵌した状態で、内壁部に軸方向に螺旋状に巻かれた融着用ワ
イヤー 4 に給電して加熱し、その周辺部を溶かすことにより、ポリエチレン
管 E F 継手 3 の内壁面 3 b とポリエチレン管 2 の外壁面 2 a を融着させて、
強固な密封接続を実現するものである。この融着作業において、例えば、砂、
ほこり、ごみ、水、どろ水などがポリエチレン管 E F 継手 3 の内壁面 3 b と
ポリエチレン管 2 の外壁面 2 a との間に入り込んでいたりしていると、未融

着部 5 が生じる。このような未融着部 5 をポリエチレン管 E F 継手 3 の外壁面 3 a からフォーカス型縦波超音波探触子 1 を用いて探すのである。

図 2 から明らかなように、融着用ワイヤー 4 は管軸方向に螺旋状に巻かれているので、この融着用ワイヤー 4 からのエコーが未融着部 5 からのエコーの検出を邪魔しないように、その音軸中心線が融着用ワイヤー 4 の隙間を通る超音波ビームで融着領域を検査することが重要である。つまり、高分解能をもった超音波ビームで検査する必要がある、そのためにフォーカス型縦波超音波探触子 1 は融着用ワイヤー 4 から融着領域の間にフォーカスが合っていないなければならない。

- 10 このフォーカス型縦波超音波探触子 1 は、ダンパー材 1 3 によって裏打ちされた湾曲状圧電素子 1 1 と、圧電素子 1 1 の前面、つまり凹曲面に密着されているマッチング材 1 2 と、これらの一体物を内装しているカップ状の本体ケース 1 4 を備えている。圧電素子 1 1 の材料としてポリマー圧電膜は、仕様に応じて選択されるが、例えば、ポリジフルオロエチレン（ポリフッ化
- 15 ビニリデン：P V D F）、P（V D F－T r F E）（フッ化ビニリデンと 3 フッ化エチレンの共重合体）、P（V D F－T e F E）（フッ化ビニリデンと 4 フッ化エチレンの共重合体）などが代表的であり、これを、所望フォーカス距離に合わせて設計されたマッチング材 1 2 の凸曲面に密着張り付けされることで、湾曲状圧電素子として機能する。そのような圧電素子の両面にここ
- 20 では図示されていないが、薄膜電極が形成されており、この電極は電線 1 5 を介して本体ケース 1 4 に設けられたコネクタ 1 6 に接続されている。このコネクタ 1 6 が、高周波ケーブルを介して、高周波発振器、増幅器、信号評価部、モニターなどを備えた超音波探傷器のコネクタに接続されることにより、フォーカス型縦波超音波探触子 1 は超音波探傷の超音波発信部及び受信部として機能する。マッチング材 1 2 は、ここでは被検査物と同じ材料であるポリエチレンから作られており、圧電素子 1 1 とは反対側の面は、
- 25 ポリエチレン管 E F 継手 3 の外壁面 3 a にぴったりと合うように凹面に加工されている。これによりマッチング材 1 2 と外壁面 3 a との間にカップリング剤 6 を薄く介在させるだけで、良好な密着性が得られる。このフォーカス

型縦波超音波探触子 1 のフォーカス距離は、マッチング材 1 2 の長さを変更することによって所望のものにすることができる。

- ここで用いられた圧電素子 1 1 の音響インピーダンスは $2.1 \times 10^6 \text{ kg} / \text{s} \cdot \text{m}^2$ であり、ポリエチレン製のマッチング材 1 2 の音響イン
- 5 ピーダンスは $4.5 \times 10^6 \text{ kg} / \text{s} \cdot \text{m}^2$ であり、 $30 \times 10^6 \text{ kg} / \text{s} \cdot \text{m}^2$ 以上の金属酸化物圧電素子の音響インピーダンスを考えると、ポリマー製圧電素子 1 1 とマッチング材 1 2 の音響インピーダンスは類似しているといえる。このフォーカス型縦波超音波探触子 1 の水浸法（厚さ 0.34 mm の刃を照準とする）でのフォーカス点での音圧状態は図 3 に
- 10 示しており、良好なフォーカスレベルが得られている。さらに、図 4 には、前述したポリエチレン管 E F 継手 3 の接合状態を検査するテストピースに対する探触子 1 の位置とその際のモニターでのエコー表示が示されている。このテストピースには、ワイヤー 4 の内側に位置するポリエチレン管 E F 継手 3 の接合部に人工的に非融着部が形成されているので、フォーカスがよく効
- 15 いた本発明による探触子 1 を管軸方向に沿って走査することにより、ワイヤー 4 からのエコーが、ここでは伝播時間 $16 \mu \text{ sec}$ の位置付近に高くなったり低くなったりしながら生じ、人工欠陥（接合不良箇所）のエコーは伝播時間 $18 \mu \text{ sec}$ の位置付近に生じるはずである。実験の結果によれば、図 4 に示すように、探触子 1 を融着用ワイヤー 4 の直上に置いた場合は融着用ワイ
- 20 ヤー 4 からのエコーが表示され（図 4（a））、探触子 1 を融着用ワイヤー 4 の隙間に置いた場合融着用ワイヤー 4 からのエコーが小さくなって（図 4（b））、融着用ワイヤー 4 の隙間から人工欠陥からのエコーが確実に検出されている（図 4（c））。このことから、このフォーカス型縦波超音波探触子 1 がポリエチレン管 E F 継手 3 の接合状態の検査に有効であることは明らか
- 25 であり、実際の探傷では、同じサイズの E F 継手 3 に対しては $17 \mu \text{ sec}$ から $20 \mu \text{ sec}$ の間にゲートをかけて管周面全域から走査することで接合不良の検査を行うことができる。なお、図 4 のモニター表示において、縦軸は超音波の振幅（電圧）を表しており、横軸は超音波の伝播時間を表しているが、伝播時間は図面の都合上、 $7 \mu \text{ sec}$ から $27 \mu \text{ sec}$ の領域だけを示しており、

実質的な探傷領域が中央にくるように設定されている。

被検査物とマッチング材 1 2 が同じ材料の場合は問題ないが、被検査物とマッチング材 1 2 との材料が異なりその音響インピーダンスが大きく異なる場合、マッチング材 1 2 として、その音響インピーダンスがポリマー圧電素子 1 1 の音響インピーダンスから被検査物の音響インピーダンスに近づくような傾斜した音響インピーダンス特性をもった材料を用いると、被検査物との境界で境界エコーが低減するので、欠陥検査にとって有利となる。音響インピーダンス変化を有するマッチング材の製造は使用する材料によって選択されるが、ポリマー材料に音響インピーダンスの大きな金属粉末を添加しながら遠心成型する方法や、音響インピーダンスの異なるポリマーシートを多重に重ねていく方法が提案される。

本発明の第 2 の実施の形態を図 5 を用いて説明する。

このフォーカス型縦波超音波探触子 1 は、メインボディ 1 0 と、このメインボディ 1 0 に選択的に取り替え可能に連結されるサブボディ 2 0 とから構成されている。つまり、先の実施の形態の探触子の下部にサブボディ 2 0 を取り外し可能に取り付けた構成であり、マッチング材 1 2 がここでは、メインボディ 1 0 に内装される第 1 部材 1 2 と、サブボディ 2 0 に内装される第 2 部材 2 1 とに分割されているのである。

メインボディ 1 0 は、ダンパー材 1 3 によって裏打ちされた湾曲状圧電素子 1 1 と、圧電素子 1 1 の前面、つまり凹曲面に密着されている第 1 マッチング材 1 2 と、これらの一体物を内装しているカップ状の本体ケース 1 4 を備えている。圧電素子 1 1 に設けられているここでは図示されていない薄膜電極は電線 1 5 を介して本体ケース 1 4 に設けられたコネクタ 1 6 に接続されている。第 1 部材 1 2 は、ここでも被検査物と同じ材料であるポリエチレンから作られており、圧電素子 1 1 とは反対側の面は精密に平坦に仕上げられており、本体ケース 1 4 の端面からわずかに突出させている。

サブボディ 2 0 は、第 2 部材 2 1 とこの第 2 部材 2 1 を外嵌しているサブケース 2 2 とを備えている。第 2 部材 2 1 も第 1 部材 1 2 と同じポリエチレンから作られており、第 1 部材 1 2 と密着する面は平坦に精密仕上げされて

おり、他方の面は走査面であるポリエチレン管E F継手3の外壁面3 a にぴったりと合うように凹面加工されている。サブケース2 2の内壁面に設けられた雌ねじ部2 2 aは本体ケース1 4の外壁面に設けられた雄ねじ部

- 1 4 aに螺合することにより、本体ケース1 4とサブケース2 2は一体化され、第1部材1 2と第2部材2 1の突き合わせ接触するが、その際互いの接触面にグリセリンなどのカップリング剤を塗布しておくことで、超音波音響学的な密着を確保する。

- 本体ケース1 4にサブケース2 2を組み付けることにより、フォーカス型縦波超音波探触子1の完成品となるが、そのフォーカス距離はサブボディ
- 2 0の第2部材2 1の長さを選択することによって所望のものにすることができる。つまり、図5から明らかなように、第1マッチング材1 2の軸方向長さ：L1は一定であり、第2マッチング材2 1の軸方向長さ：L2は選択するサブボディ2 0によって異なり、圧電素子1 1のフォーカス距離：Lは曲面形状から決定されるので、適切な第2マッチング材2 1の長さ：L2を有するサブボディ2 0を選択することにより、ポリエチレン管E F継手3の融着部領域にフォーカス点をもつてくることができる。サブボディ2 0の選択の際には、第2部材2 1の被検査物側の面の形状がポリエチレン管E F継手3の外壁面3 aに適合したものを選択することも重要であり、これにより第2部材2 1と外壁面3 aとの間にカップリング剤6を薄く介在させるだけで、良好な密着性が得られる。図6には、短いサブボディ2 0を装着したフォーカス型縦波超音波探触子1が示されている。

- 上記説明から明らかなように、この実施形態のフォーカス型縦波超音波探触子1では、第1部材1 2と第2部材2 1が、フォーカス距離のマッチングのために機能しているとともに、互いの境界から欠陥判定の障害となるような境界エコーが生じないようにそれらの音響インピーダンスもマッチングをとっていることが重要である。

これまでの実施の形態の説明では、圧電素子1 1としてポリマー圧電膜が用いられたが、これに代えてチタン酸ジルコン酸鉛、ニオブ酸鉛、ニオブ酸リチウムなどの圧電性金属酸化物を採用しても良い。この発明で第1に重要

な点は、フォーカス型縦波超音波探触子 1 において、圧電素子 11 とマッチング材と被検査物 3 の音響インピーダンスを適切に選択することである。また、上述した圧電素子 11 は球面状の湾曲体形状を備えており、いわゆるポイントフォーカスタイプであったが、これに代えて、円柱周面状の湾曲体形状を備えることでラインフォーカスタイプとすることも本発明の枠内に入るものである。

次に、このようなフォーカス型縦波超音波探触子 1 を用いた超音波探傷における超音波探傷装置のための欠陥評価装置について説明する；

図 7 は、本発明による欠陥評価装置 50 を備えた超音波探傷装置 100 のブロック図である。超音波探傷装置 100 は、超音波探触子 1 を介して被検査物に超音波を送信して、戻ってきたエコーを評価する。ここでは、2 本のポリエチレン管 2 を突き合わせ接合するポリエチレン管 EF（熱溶融）継手 3 の接合状態の超音波検査のために用いられている。このポリエチレン管 EF 継手 3 は、突き合わされたポリエチレン管 2 に外嵌した状態で、内壁部に軸方向に螺旋状に巻かれた融着用ワイヤー 4 に給電して加熱し、その周辺部を溶かすことにより、ポリエチレン管 EF 継手 3 の内壁面 3b とポリエチレン管 2 の外壁面 2a を融着させて、強固な密封接続を実現するものである。この融着作業において、例えば、砂、ほこり、ごみ、水、泥水などがポリエチレン管 EF 継手 3 の内壁面 3b とポリエチレン管 2 の外壁面 2a との間に入り込んでいたりしていると、未融着部 5 が生じる。このような未融着部 5 をポリエチレン管 EF 継手 3 の外壁面 3a から超音波探触子 1 を用いて探すのである。融着用ワイヤー 4 は管軸方向に螺旋状に巻かれているので、超音波探触子 1 からの超音波ビーム上にこの融着用ワイヤー 4 が位置する場合、融着用ワイヤー 4 からのエコーが生じることになる。もちろん超音波探触子 1 からの超音波ビーム上に未融着部 5 が位置する場合、未融着部 5 からのエコーが欠陥エコーとして検出される。さらに、前述したように内壁面 3b と外壁面 2a との間に入り込んだ水や泥水の加熱等により融着用ワイヤー 4 の周辺に生じた空隙 5a からの欠陥エコーが融着用ワイヤー 4 からのエコーに重なるような形で生じる。

上述したような欠陥エコーを確実に検出評価するために、欠陥評価装置 50 は、第 1 ゲート回路 51 と第 2 ゲート回路 52、そして第 1 評価回路 53 と第 2 評価回路 54、さらに被検査物であるポリエチレン管 EF 継手 3 の音速を評価する音速評価回路 55 を備えている。図 7 からよく理解できるように、第 1 ゲート回路 51 で生成された第 1 ゲート 31 と、第 2 ゲート回路 52 で生成された第 2 ゲート 32 は画像表示部 56 によって場合によって生じるエコーとともにモニター 57 に表示される。融着用ワイヤー 4 からエコーと空隙 5a からエコーは第 1 ゲート 31 に、未融着部 5 からエコーは第 2 ゲート 32 に検出される。

第 1 ゲート 31 によって検出されたエコーは電気信号として第 1 評価回路 53 に送られ、前設定されたしきい値と比較され、内壁面 3b と外壁面 2a との間に入り込んだ水や泥水の加熱等により融着用ワイヤー 4 の周辺に生じた空隙 5a から欠陥エコーであるかどうか判定される。つまり、融着用ワイヤー 4 に直接反射して戻ってくるエコーの振幅は予め推測できるため、それを越えるエコーは欠陥エコーと判定される。第 2 ゲート 32 によって検出されたエコーは電気信号として第 2 評価回路 54 に送られ、前設定されたしきい以上の振幅を有しておれば、未融着欠陥を示す欠陥エコーと判定される。このことを例示するために、図 8 に第 1 ゲート 31 によって検出された欠陥エコーを示すモニター画面とその際の超音波探触子 1 の走査位置とが示されており、図 9 に第 2 ゲート 32 によって検出された欠陥エコーを示すモニター画面とその際の超音波探触子 1 の走査位置とが示されている。なお、ここでは横軸としての超音波伝播時間軸の 0 点は送信パルス位置ではなく、モニタ画面の見やすさを考慮して適当に設定された位置となっている。

上述したような、ゲートによって検出されたエコーを評価して欠陥判定を行う場合、ゲートの設定が重要となる。通常、ゲートは、被検査物内の欠陥発生領域に対応する時間軸領域に設定されるが、この場合被検査物中の音速が一定であることが条件となる。ここで取り上げているポリエチレン管 EF 継手 3 の接合状態の超音波検査などでは、この検査が熱溶融させた直後に行われることから、検査作業中にわたって、刻々と材料温度が変化し、それに

伴って音速も変化する。このため、正確なゲート位置を得るためには音速変化に追従してゲート位置を変更する必要がある。

次に、本発明における欠陥評価装置 50 のゲート設定動作を説明する。

超音波探触子 1 がポリエチレン管 EF 継手 3 の外壁面 3 a を走査して、超音波を入射すると、外壁面 3 a から距離 : $D1$ 離れた位置にある融着用ワイヤー 4 からのエコーが表面エコーから時間 : $t1$ 離れた位置にワイヤーエコーが生じるので、まずこの領域に、時間 : $t1 - \alpha$ から $t1 + \alpha$ までの 2α の時間幅を有する第 1 ゲート 3 1 を設定し、さらに、融着用ワイヤー 4 から距離 : $D2$ 離れた位置に、ポリエチレン管 EF 継手 3 の内壁面 3 b とポリエチレン管 2 の外壁面 2 a との間の未融着欠陥領域があるので、時間 : $t1 + t2 - \beta$ から $t1 + t2 + \beta$ までの 2β の時間幅を有する第 2 ゲート 3 2 を設定する。その際表面エコーが明確に生じない場合は、送信パルスを基準として擬似的な表面エコー位置を求め、そこをゲート設定の基準としても良い。これらのゲート設定の様子は図 10 に模式的に示されている。

同時に、音速評価回路 5 2 は、ポリエチレン管 EF 継手 3 の外壁面 3 a から反射されてくる表面エコー及びポリエチレン管 2 の内壁面 2 b から反射されてくる、いわゆる底面エコーを検出し、その間の時間 : $t3$ を計測する。この時間は、被検査物中の音速の変化に反比例するので、これにより音速変化を即座に評価することができる。溶着後数十分が経過して、温度が下がり、ポリエチレン管 2 やポリエチレン管 EF 継手 3 中の音速が再び上昇するが、それに追従して変更されていく第 1 ゲート 3 1 と第 2 ゲート 3 2 の様子は図 11 に模式的に示されている。ここで取りあげられた被検査物、ポリエチレン管 2 とポリエチレン管 EF 継手 3 の場合、融着直後の温度におけるワイヤーエコーは通常の温度におけるワイヤーエコーに比べ、約 $5\mu s$ 程度遅れていることが実験で確かめられている。

第 1 ゲート 3 1 と第 2 ゲート 3 2 が最初に設定された時点の音速（ここでは図 10 に示された表面エコーと底面エコーとの時間間隔 : $t3$ に対応する）を基準として音速（時間間隔）が変化するに従って、その変化量 :

$(t3 - T3) / t3$ に応じて第 1 ゲート 3 1 と第 2 ゲート 3 2 の位置が変

更され、それぞれ音速変化に追従した時間間隔：T1 と T2 となる位置にくる。これにより、温度変動により、ワイヤーエコーや欠陥エコーの生じる時間位置がずれても、そのためのゲート 31、32 も追従しているので、確実に欠陥エコーを検出することができる。なお、ここでは、各ゲート幅： 2α と 2β は一定にしているが、温度差による音速差が大きい場合は、より精密なゲート幅が要求される場合は、ゲート幅も音速変化に追従して変更するとよい。

図 7 で示したような、ポリエチレン管 2 を突き合わせ接合するポリエチレン管 EF（熱溶融）継手 3 の接合状態の超音波検査では、被検査物中での温度傾斜がかなり特異的であるため、つまりポリエチレンの熱伝導が遅いので加熱源としてのワイヤー 4 から離れるほど温度差が生じることから、融着用ワイヤー 4 周辺部が高温で、そこから内外に離れるほど急激に温度が低下しているという現象となる。この温度差は時間経過とともに解消されていくが、このように探傷時において被検査物中での温度傾斜、結果的には被検査物中で音速の相違が大きい場合、探傷領域近傍での音速をチェックすることが重要となるので、この例では、表面エコーと底面エコーに基づいた平均的な音速測定の結果に基づくゲート設定においてさらなる補正を行うことが好ましい。例えば、ワイヤーエコーと底面エコーに基づいた平均的な音速測定の結果に基づくゲート設定を行うとよい。さらに、融着用ワイヤー 4 と未融着欠陥領域との間の温度変化はワイヤーエコーと底面エコーが発生する領域の平均的な温度変化より無視できない程度に大きい場合では、経験的に求められた補正係数によって第 2 ゲート 32 の位置と必要の場合ゲート幅をさらに補正してもよい。

上述した実施の形態の説明では、超音波探傷中に被検査物中の音速が変動するものとして、2 本のポリエチレン管 2 を突き合わせ接合するポリエチレン管 EF（熱溶融）継手 3 の接合状態の超音波検査を取り上げたが、もちろん本発明の超音波探傷装置用欠陥評価装置は、ポリエチレン以外のポリオレフィン樹脂系の同様な管の熱溶融継手の接合状態の超音波検査やその他検査中に音速変化が生じる被検査物の超音波探傷に広く利用することができる。

産業上の利用可能性

本発明によるフォーカス型縦波超音波探触子は、鋼などの金属に比べ、一般的に音波の減衰率が高く、通常の超音波探触子を用いると低いS/N比をもった検出信号しか得られないポリオレフィン樹脂管などの熱溶融継手の接合状態の検査に用いるのに適している。同様に、本発明による超音波探傷装置用欠陥評価装置は、複雑な反射エコーや音速変動を考慮しなければならない熱溶融継手の接合状態の検査に用いるのに特に適している。

10

15

20

25

請 求 の 範 囲

1. 湾曲状圧電素子と、前記湾曲状圧電素子の凹面に密着した入力端面と被検査物としてのポリマー材料の表面に適合した出力端面とを有するマッチング材とを備え、
- 5 前記マッチング材の音響インピーダンスが前記被検査物の音響インピーダンスに適合させられていることを特徴とするポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。
2. 湾曲状圧電素子と、前記湾曲状圧電素子の凹面に密着した入力端面と被検査物としてのポリマー材料の表面に適合した出力端面とを有するマッチング材とを備え、
- 10 前記マッチング材の音響インピーダンスが前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合させられていることを特徴とするポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。
3. 湾曲状圧電素子と、前記湾曲状圧電素子の凹面に密着した入力端面と被検査物としてのポリマー材料の表面に適合した出力端面とを有するマッチング材とを備え、
- 15 前記マッチング材の音響インピーダンスが前記被検査物の音響インピーダンスに適合させられており、かつ
- 20 前記マッチング材の音響インピーダンスは前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合させられていることを特徴とする請求項1に記載のポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。
4. 前記湾曲状圧電素子はポリマー圧電材料からなることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。
- 25 5. 前記マッチング材の音響インピーダンスは、前記入力端面から出力端面にかけて前記湾曲状圧電素子から発射された縦波超音波の伝播方向に関して前記湾曲状圧電素子の音響インピーダンスに適合する値から前記被検査物の音響インピーダンスに適合する値に向かって変化していることを特徴とする。

る請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。

6. 前記マッチング材は第 1 マッチング材と第 2 マッチング材とに分割されており、前記第 1 マッチング材は一方の端面が前記入力端面として形成され、前記第 2 マッチング材は一方の端面が前記出力端面として形成され、前記第 1 マッチング材は一方の端面が前記出力端面として形成され、前記第 1 マッチング材の音響インピーダンスは前記第 2 マッチング材の音響インピーダンスに適合させられていることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載のポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。

7. 前記第 2 マッチング材は前記第 1 マッチング材に対して脱着自在であることを特徴とする請求項 6 に記載のポリマー材料検査用フォーカス型縦波超音波探触子。

8. 被検査物としてのポリマー材料に超音波を送信して、そこから戻ってくるエコーを受信する超音波探傷装置のための欠陥評価装置において、

- 前記被検査物内の所定反射源からのエコーのための第 1 ゲートを生成する第 1 ゲート回路と、前記第 1 エコーから所定時間遅れの位置に欠陥検出用の第 2 ゲートを生成する第 2 ゲート回路と、前記第 1 エコーの振幅が所定レベルを越えた場合欠陥検出と判定する第 1 評価回路と、前記第 2 ゲートに発生したエコーが生じた場合欠陥検出と判定する第 2 評価回路とが備えられていることを特徴とする超音波探傷装置のための欠陥評価装置。

9. 前記第 2 ゲート回路は前記第 1 エコーと前記第 2 ゲートの時間間隔を前記被検査物中の音速の変化に追従して変更することを特徴とする請求項 8 に記載の欠陥評価装置。

10. 前記第 1 ゲート回路は表面エコーと前記第 1 ゲートの時間間隔を前記被検査物中の音速の変化に追従して変更することを特徴とする請求項 8 に記載の超音波探傷装置のための欠陥評価装置。

11. 前記被検査物中の音速の変化が前記被検査物内の 2 つの所定反射源からのエコーの時間間隔の計測によって求められることを特徴とする請求項 9

又は 10 に記載の超音波探傷装置のための欠陥評価装置。

5

10

15

20

25

1/8

Fig. 1

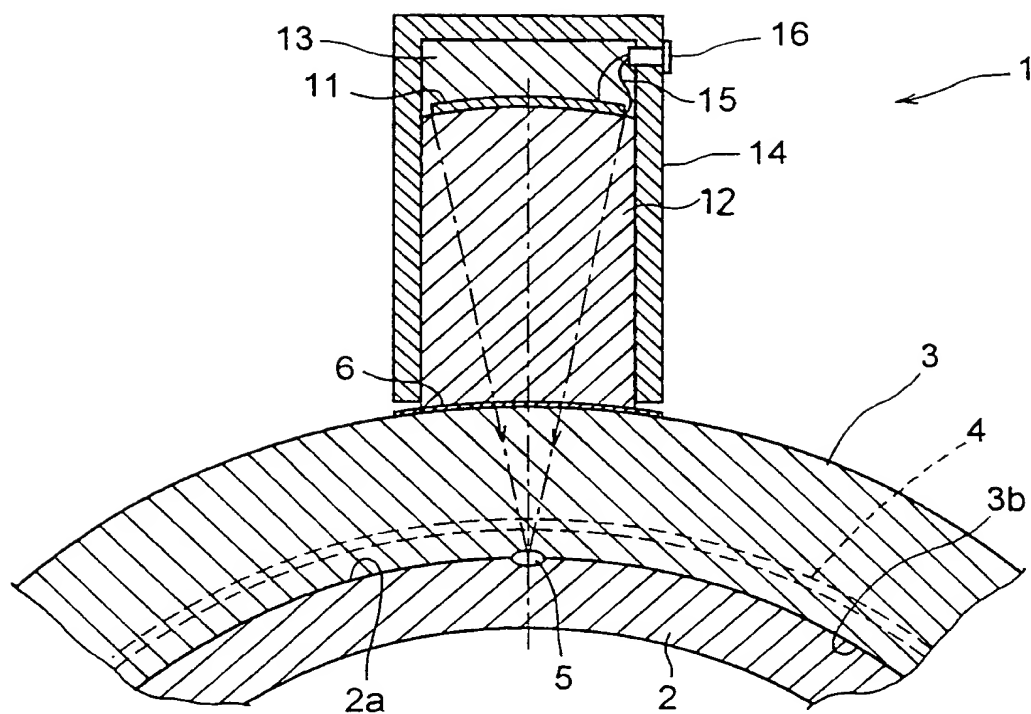
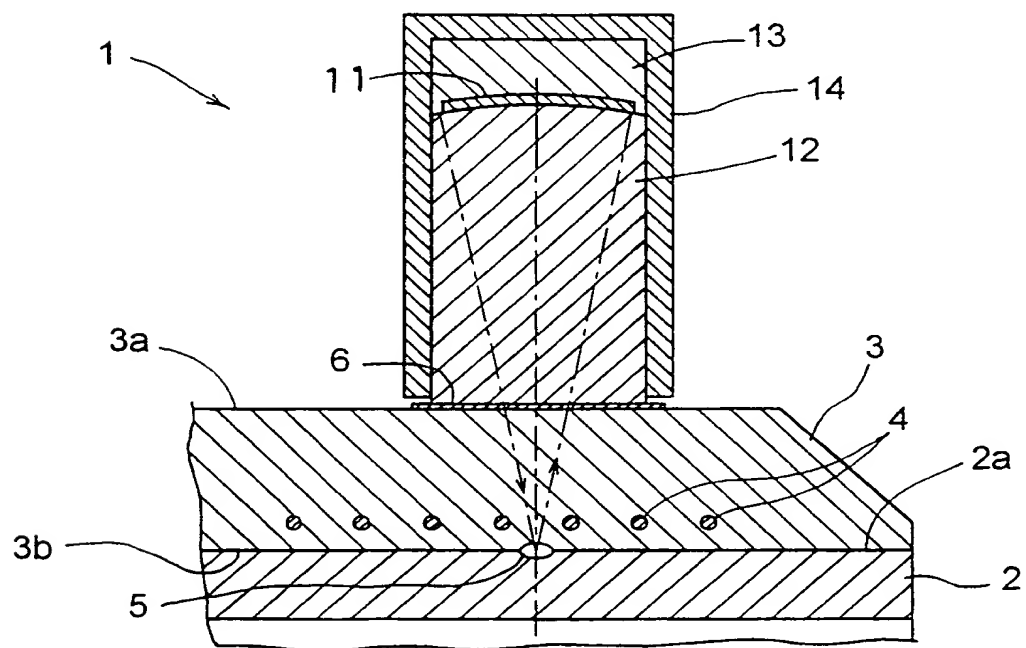
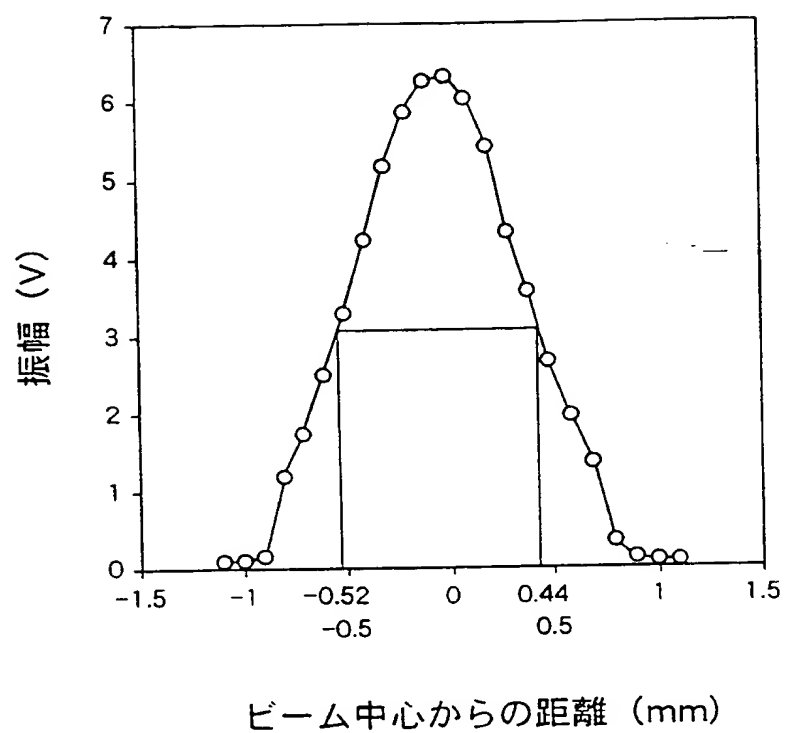


Fig. 2



2/8

Fig. 3



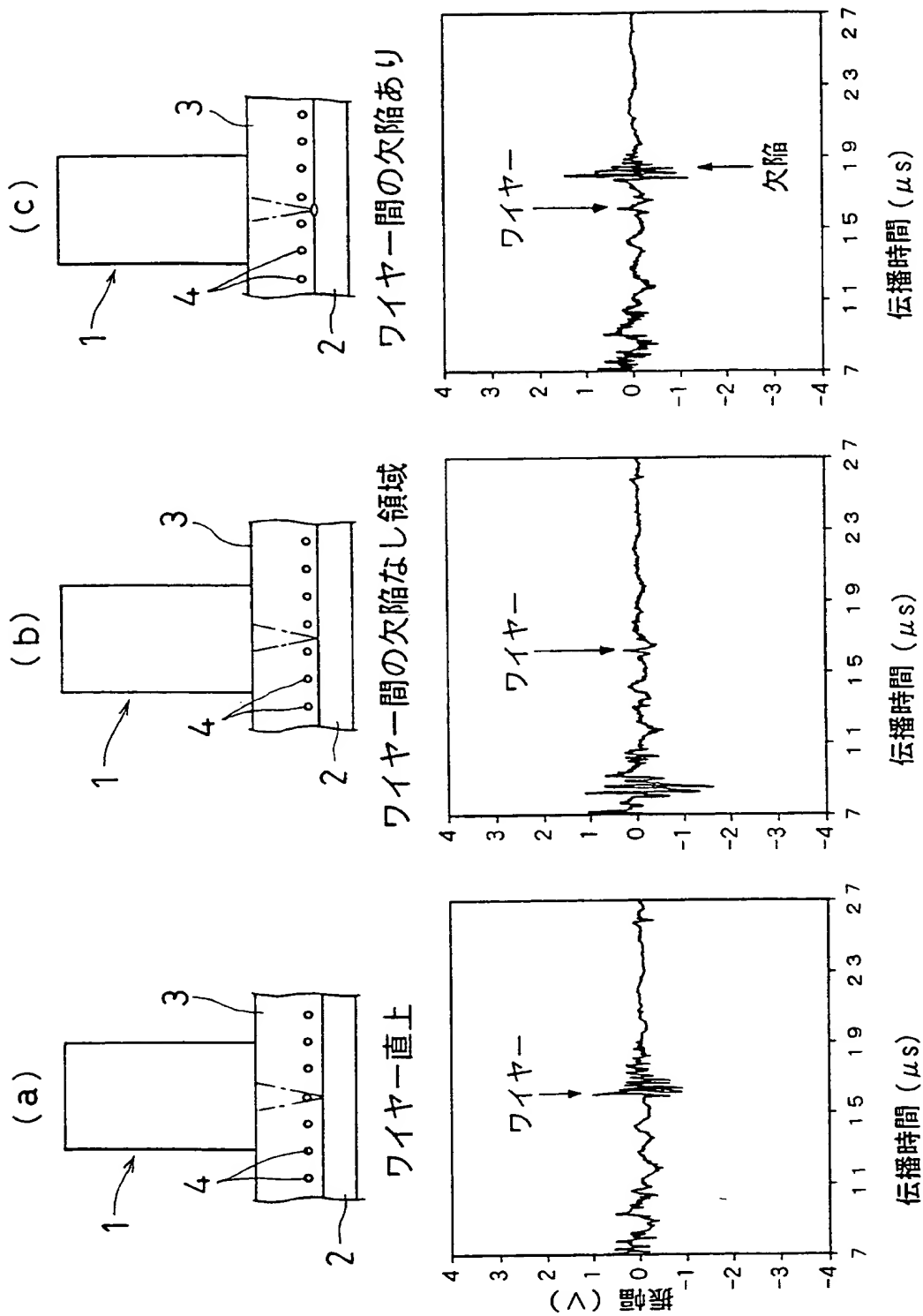


Fig. 5

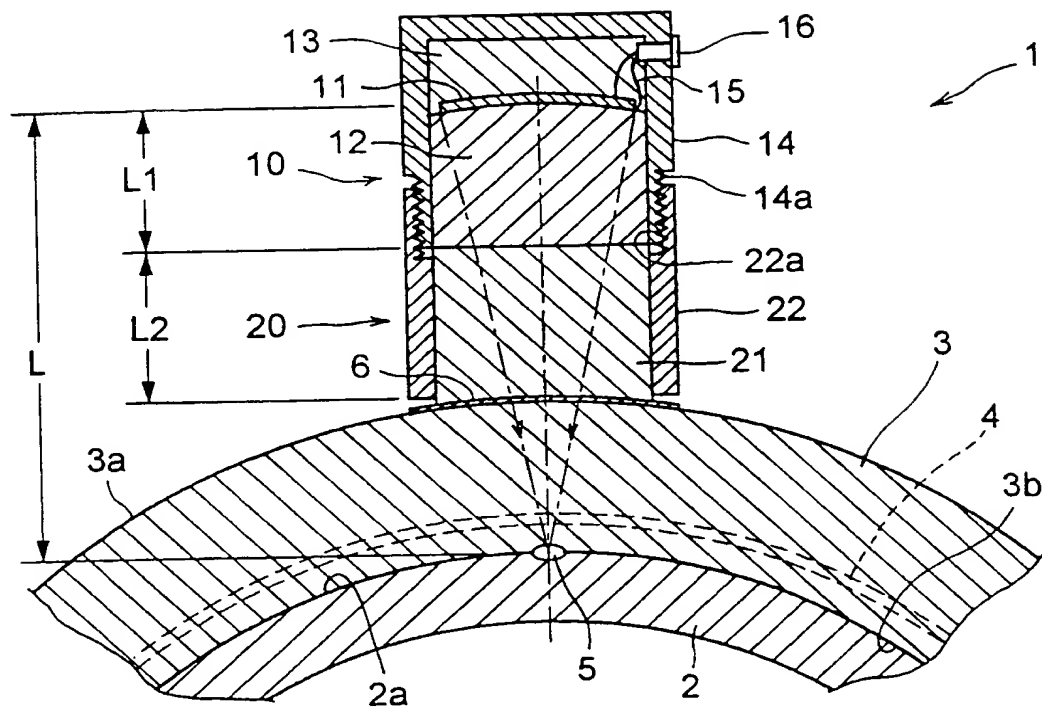
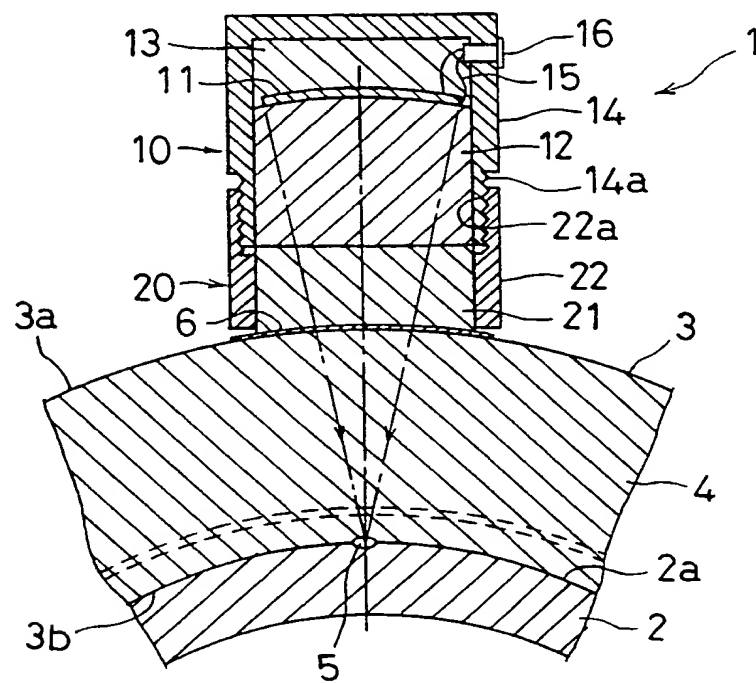


Fig. 6



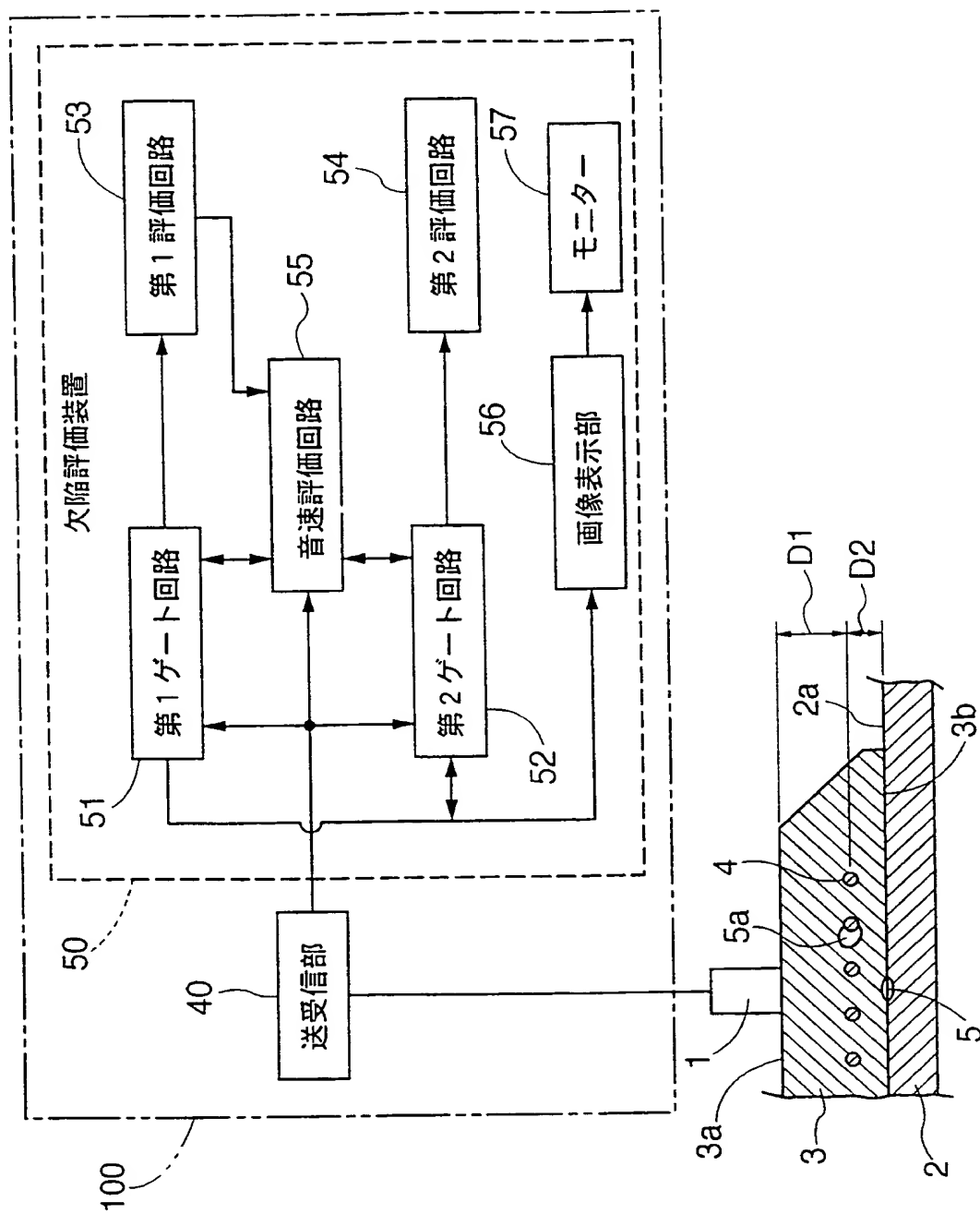
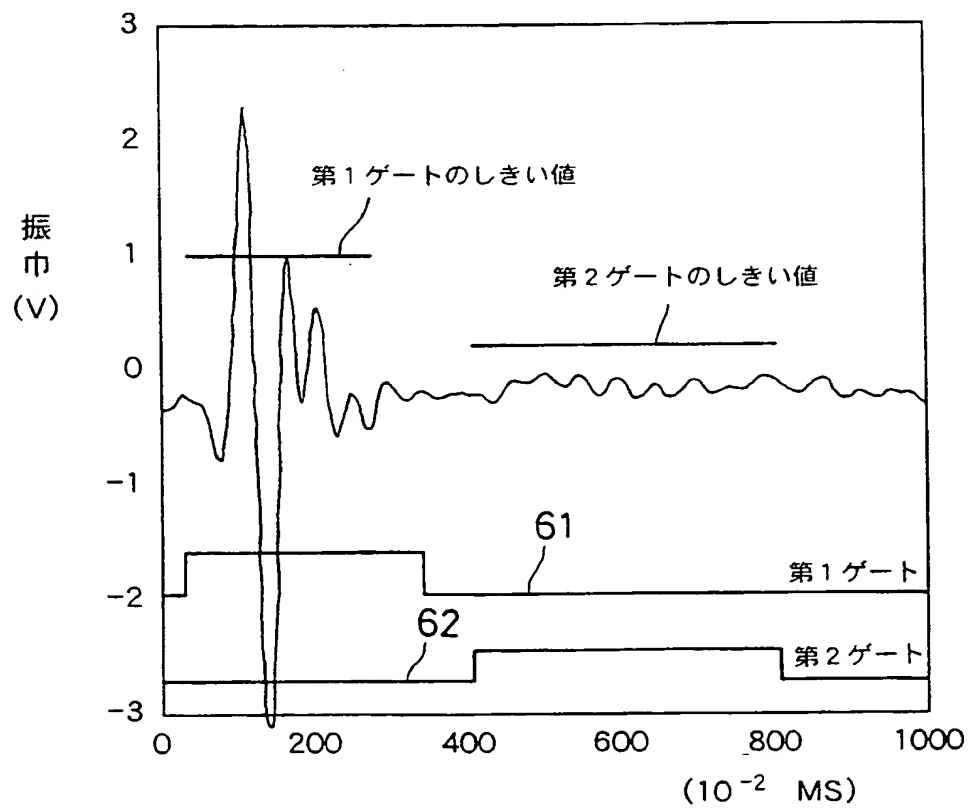
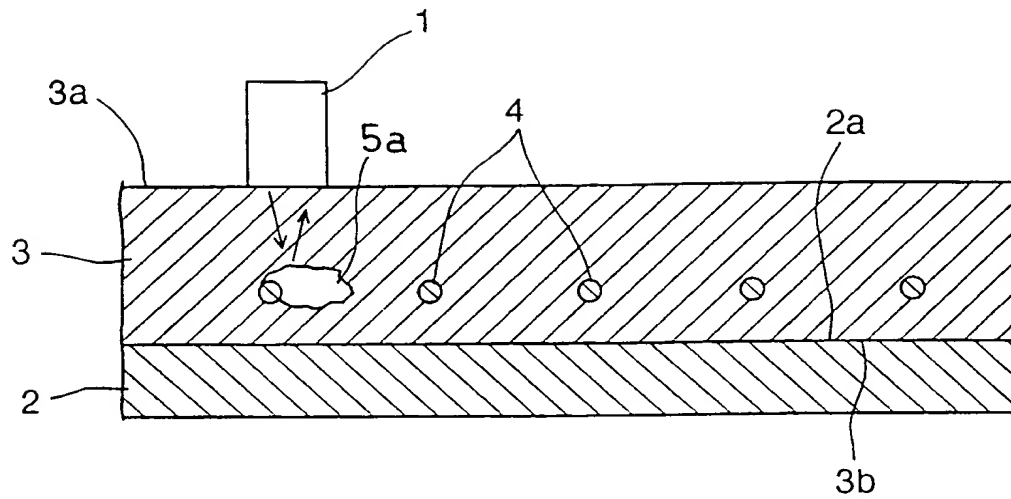


Fig. 7

6/8

Fig. 8



7/8

Fig. 9

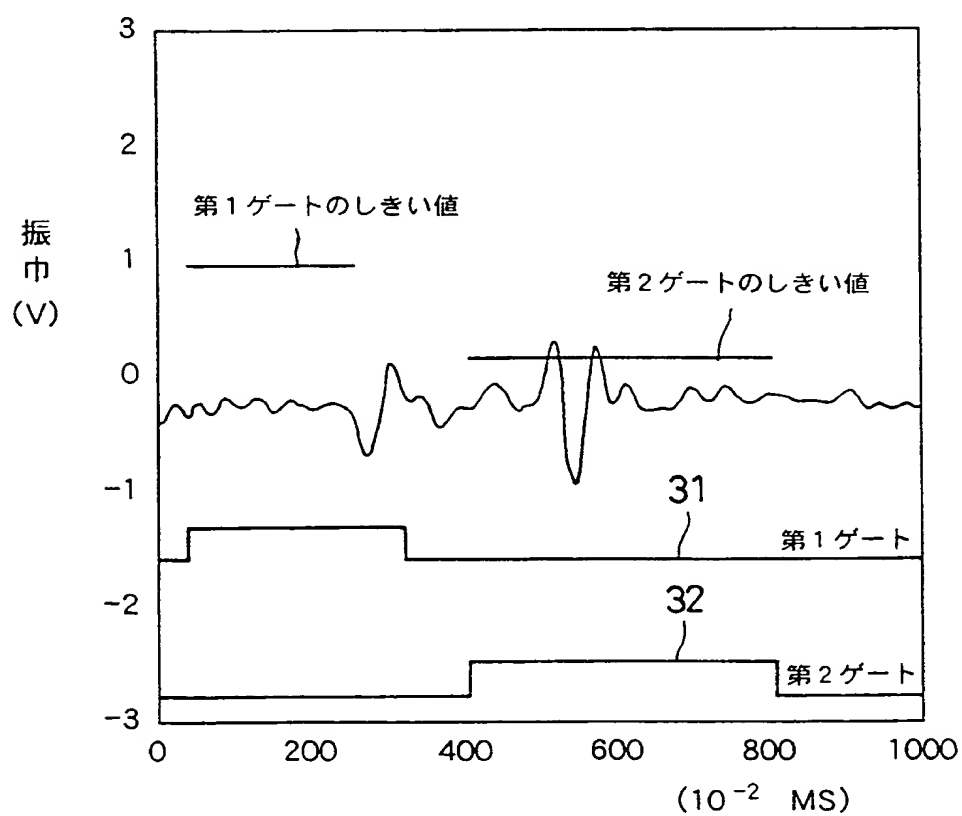
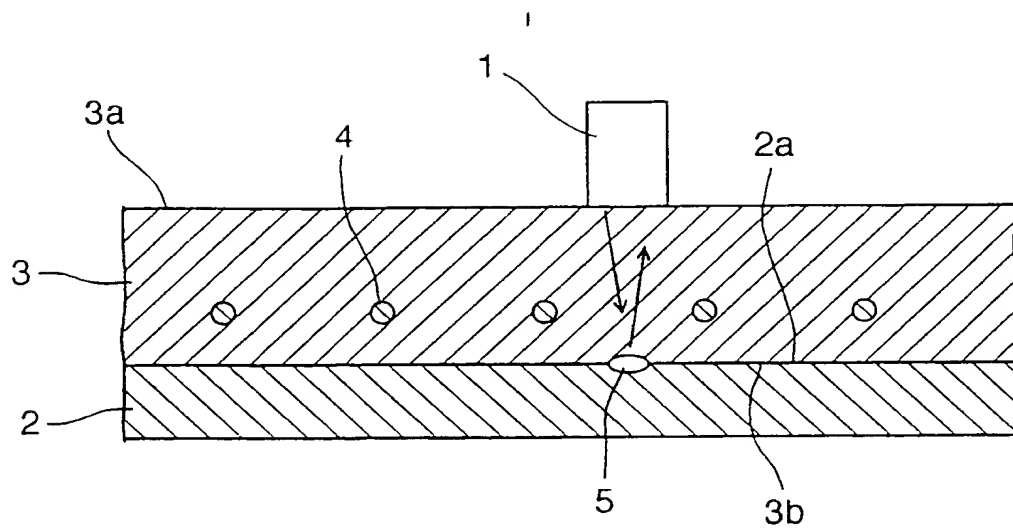


Fig. 10

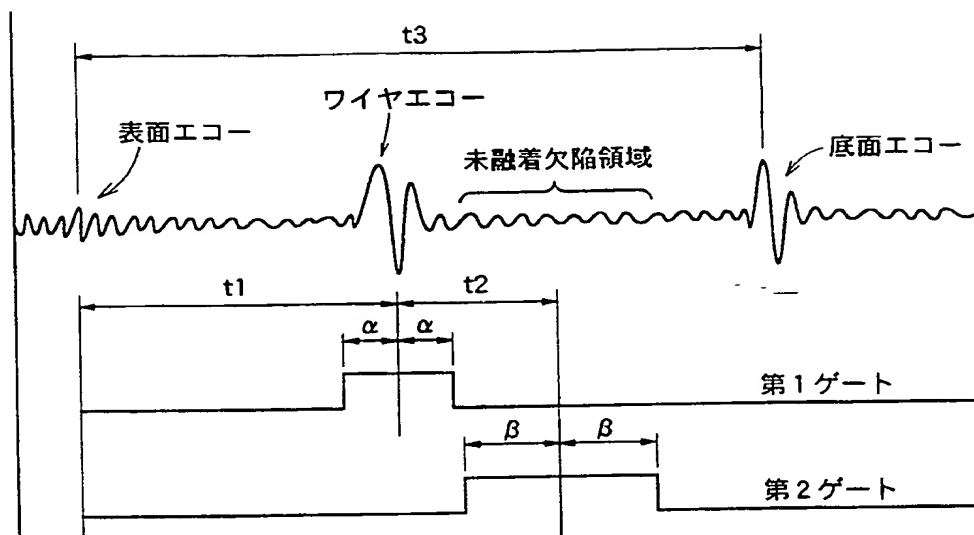
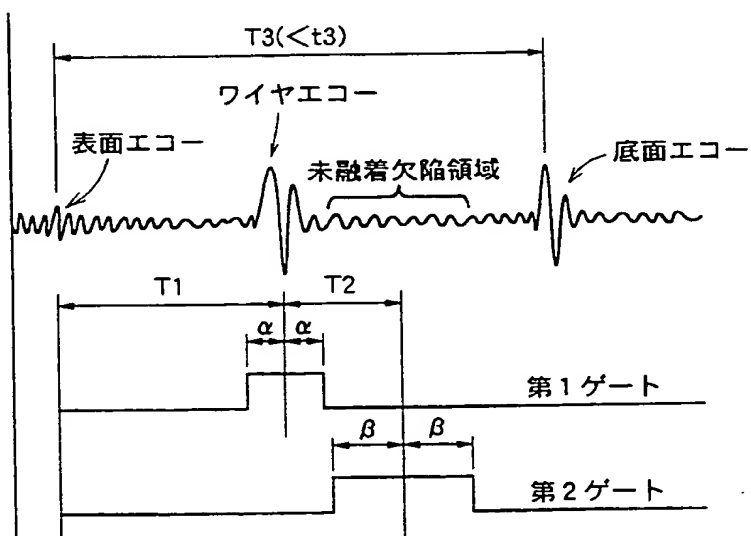


Fig. 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/03962

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁶ G01N29/24, G01N29/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁶ G01N29/00-29/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP, 8-275944, A (Nihon Dempa Kogyo Co., Ltd.), 22 October, 1996 (22. 10. 96), Full text ; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1, 2, 4 3, 5-7
Y	JP, 4-340464, A (Nissan Motor Co., Ltd.), 26 November, 1992 (26. 11. 92), Full text ; Figs. 1 to 11 (Family: none)	1, 2, 4
Y A	JP, 57-162591, A (Yokogawa Electric Corp.), 6 October, 1982 (06. 10. 82), Claims ; Figs. 3, 4 (Family: none)	1, 2, 4 3, 5-7
A	JP, 9-210971, A (Kubota Corp.), 15 August, 1997 (15. 08. 97), Full text ; Figs. 1 to 4 (Family: none)	8-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
 "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 November, 1998 (17. 11. 98)

Date of mailing of the international search report
1 December, 1998 (01. 12. 98)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁸ G 01 N 29/24, G 01 N 29/22

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁸ G 01 N 29/00-29/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-1998年
 日本国登録実用新案公報 1994-1998年
 日本国実用新案登録公報 1996-1998年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P, 8-275944, A (日本電波工業株式会社) 22. 10月. 1996 (22. 10. 96) 全文, 第1-3図 (ファミリーなし)	1, 2, 4 3, 5-7
Y	J P, 4-340464, A (日産自動車株式会社) 26. 11月. 1992 (26. 11. 92) 全文, 第1-11図 (ファミリーなし)	1, 2, 4
Y A	J P, 57-162591, A (株式会社横河電機製作所) 6. 10月. 1982 (06. 10. 82) 特許請求の範囲, 第3-4図 (ファミリーなし)	1, 2, 4 3, 5-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 11. 98

国際調査報告の発送日

01.12.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

飯野 茂

2 J

8105

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 9-210971, A (株式会社クボタ) 15. 8月. 1997 (15. 08. 97) 全文, 第1-4図 (ファミリーなし)	8-11